Amerikanische Erfahrungen über das Einbringen von Unterwasserbeton ¹⁾

Gekürzte Bearbeitung von Jürgen Dahms, Düsseldorf

Übersicht

Die Ausführungen befassen sich mit Regeln, Berichten und Erfahrungen über das Einbauen von Unterwasserbeton. Dabei wurden einige der Schwierigkeiten und Probleme mit untersucht, die sich beim Einbringen von Beton hoher Güte einstellen ²⁾.

Der Beton wird über senkrechte Rohre, an deren oberem Ende ein Einfülltrichter aufgesetzt ist, an die Einbaustelle unter Wasser gefördert. Das untere Ende des Schüttrohres bleibt im Frischbeton eingebettet, so daß Auswaschen und Entmischen des Betons im wesentlichen verhindert werden. Der Unterwasserbeton muß als weicher Beton unter der Oberfläche des schon eingebrachten Betons ausfließen. Das Einbringen muß möglichst kontinuierlich erfolgen, so daß die Oberfläche stetig seitlich und nach oben weiter geschoben wird. Mit zunehmender Höhe der Betonierschicht wird das Rohr angehoben.

Zur Anwendung kommt Unterwasserbeton im gesamten Seebau, z. B. zum Bau von Molen und zur Abdichtung von Caissons aus Fertigteilen, aber auch bei jeder Art von Massenbeton unter Wasser, bei Brückenpfeilern, Trockendocks und zur Dichtung von Tunnelsegmenten. Unterwasserbeton kann in jeder gewünschten Güte wie normaler Beton hergestellt werden. Er kann auch zusammen mit vorgefertigten Betonelementen oder mit Stahlbauteilen verwendet werden. Häufig ist er bewehrt.

Betonzusammensetzung und Geräte

Als *Zuschlagstoffe* werden Sand und Kies mit einer maximalen Korngröße bis rd. 40 mm verwendet. Für dünnwandige oder bewehrte Bauteile sowie für Beton zum Verkleiden von Pfählen aus Profilstahl beträgt die maximale Korngröße etwa 19 mm. Für Reparaturen, Anschlüsse, Abdichtungen usw. wird Mörtel verwendet. Gebrochene Zuschläge sind nicht zu empfehlen. Um eine

¹⁾ Gerwick, B. C.: Placement of tremie concrete. Symposium on concrete construction in aqueous environments. ACI Publication Sp-8, Detroit 1964, S. 9/20.

²⁾ Siehe hierzu auch DIN 1047, § 10: Betonieren unter Wasser. Dort wird ausführlich auf das Einbringen von Unterwasserbeton eingegangen.

gute Verarbeitbarkeit zu erreichen, sollte der Sandanteil (0/6 mm) etwa 42 bis 45 %, mindestens jedoch 40 % betragen.

Wesentlich ist die Verwendung einer zementreichen Mischung. Die Konsistenz, gemessen durch das Setzmaß, beträgt 15–20 cm³). Der *Zementgehalt* für massige Teile sollte mindestens 350 kg/m³ betragen. Bei kleineren Bauteilen kann er bis zu 450 kg/m³ ansteigen; im allgemeinen dürfte er bei 400 kg/m³ liegen.

Als *Zusatzmittel* kommen Verzögerer und Verflüssiger mit oder ohne LP-Zusatzmittel zur Anwendung. Verflüssiger bewirken durch die verbesserte Fließfähigkeit des Betons eine gleichmäßigere Oberfläche und eine geringere Böschung des Betons. Damit können größere Rohrabstände gewählt werden. Verzögerer ergeben eine länger anhaltende Beweglichkeit, geringere Temperaturerhöhung infolge Hydratationswärme (durch Zusatz von Verzögerern wurde die Temperaturspitze von 65 auf 50 °C vermindert) und die Möglichkeit, größere Flächen zu betonieren. Es muß allerdings dann ein Ansteigen des Schalungsdruckes berücksichtigt werden.

Die *Schüttrohre* haben im allgemeinen einen Innendurchmesser von 25 bis 30 cm. Der Durchmesser sollte mindestens dem 8fachen Größtkorn entsprechen. Mörtel kann schon durch ein Rohr von 6 cm Durchmesser gefördert werden. Am oberen Ende der Rohre befinden sich zum Einfüllen des Betons ein Trichter und eine Arbeitsbühne. Rohre mit Trichtern müssen derartig auf einem Stützgestell oder Rahmen montiert werden, daß sie während des Einbringens gehoben und gesenkt werden können. Bei kleineren Bauteilen, z. B. Dichtungsschürzen, kann das Rohr auch von einem Kran gehalten werden.

Das Rohr soll aus 3 m-Abschnitten bestehen, die leicht und schnell wasserdicht zusammengekuppelt werden können. Auch teleskopartige Rohre und Rohre mit seitlichen Fülltrichtern sind möglich. Das Rohr selbst muß besonders stabil sein, um auch bei größeren Tiefen den auftretenden Wasserdrücken zu widerstehen. Außerdem muß das Rohr schwer genug sein, um bei geringen Fließbewegungen, auch im leeren Zustand, nicht abzutreiben. Am unteren Ende soll das Rohr keinerlei Einschnürungen, Klappen oder Ventile zur Steuerung des Betonflusses haben, diese führen nur zu Verstopfern.

Arbeitsverfahren⁴⁾

Der *Abstand der Betonierrohre* untereinander richtet sich nach der gewünschten Betonierhöhe und den Bauteilabmessungen. Im allgemeinen versorgt ein Rohr etwa eine Fläche von 25 bis 30 m². Das entspricht einem Abstand der Einsatzstellen der Rohre von 5 m. Bei einem Bauteil von z. B. 10 m Breite genügt ein mittiges Rohr für den breiten Bereich. Für eine Betonierfläche von

³⁾ Entsprechend einem Ausbreitmaß von 50 bis 55 cm.

⁴⁾ Besonderheiten bei der Herstellung von Fangedämmen, Abdichtung von Druckluftkästen, Ausbildung von Konstruktionsfugen und eigentliche Unterwasserbeton-Bauwerke, die in einigen Abschnitten behandelt werden, sind hier nicht erwähnt.

10 m $\times$ 25 m sind 2 Rohre ausreichend. Durch Zugabe von Verflüssigern zum Beton ist es möglich, diese Rohrabstände noch zu vergrößern.

Vor *Betonierbeginn* werden die Rohre luftdicht verschlossen in das Wasser eingesetzt. Es darf hierbei kein Wasser in die Rohre eindringen. Am einfachsten erfolgt ein Abschluß durch einen Holzpfropfen, der, mit einem Gummiüberzug versehen, auf das untere Rohrende aufgesetzt wird und von einem dünnen Draht durch das Rohr hindurch oben am Einfülltrichter gehalten wird. Beim Einsetzen des Rohres in das Wasser drückt das Wasser auf den Holzpfropfen und dichtet so das Rohr ab. Anschließend wird Beton in das Rohr eingefüllt, der Draht gelöst und das Rohr etwa 10 bis 15 cm vom Boden abgehoben, so daß der Beton ausfließen kann. Gleichzeitig wird weiter Beton zugegeben, so daß ein gleichmäßiger Fließvorgang entsteht. Bei bewehrten Bauteilen werden die ersten Mischungen etwas mörtelreicher bzw. ganz ohne grobe Zuschlagstoffe (über 6 mm) hergestellt.

Beim Betonieren in größerer Wassertiefe (über 20 m), wo ein entsprechender Auftrieb auf das leere Rohr wirkt, verfährt man wie folgt: Das unten offene Rohr wird in das Wasser getaucht und auf den Boden aufgesetzt. Anschließend wird am Rohreinlauf ein Schwamm- oder Schaumgummiball, wie er auch zum Reinigen pneumatischer Förderleitungen verwendet wird, eingeführt. Auf diesen Ball wird Beton gefüllt, der gleichzeitig den Ball langsam in das Rohr hinunterdrückt und das Wasser aus dem Rohr verdrängt. Dieser Vorgang darf nicht zu schnell erfolgen, da sonst das rasch ausströmende Wasser an der Sohle zu Auskolkungen und zum Versetzen der Schalung führen kann.

Das Schüttrohr sollte etwa 50 cm bis 1,50 m, in Abhängigkeit von der Fließgeschwindigkeit und der Steighöhe, im frischen Beton eingebettet sein. Ein tiefes Einbetten ergibt, solange der Beton noch fließfähig ist, einen flacheren Schüttwinkel.

Der Beton sollte langsam und gleichmäßig in den Trichter gefüllt werden. Bei einer Kübelbeschickung werden die Kübel langsam geöffnet, damit der Beton stetig und gleichmäßig ausfließt. Der zu benutzende weiche Beton kann im allgemeinen nicht gepumpt werden. Ein Antransport des Betons in Mischerfahrzeugen ist möglich, wenn die Fahrzeuge direkt in das Betonierrohr entleeren. Wenige Stunden nach Beendigung des Betonierens muß ein Taucher Unebenheiten, wie z. B. die Buckel, die sich um die Betonierrohre gebildet haben, abgleichen.

Eigenschaften des Unterwasserbetons

Guter Unterwasserbeton kann 28 Tage-Festigkeiten von 360 bis 720 kp/cm² erreichen. Infolge der Auflast des Wassers und einer natürlich günstigen Nachbehandlung kann Beton mit einer Rohdichte von 2,40 bis 2,45 kg/dm³ entstehen, der damit wenig Poren aufweist und sehr dicht ist. Versuche haben ergeben, daß der Verbund mit Stahl, Fels oder älterem Beton gut ist. Eine Haftprüfung an einem Stahlpfahl in einem sehr schlammigen Wasser ergab bei Spannungen von 5,6 kp/cm² noch kein Ablösen. Es kann in der Regel eine Haftspannung von 2 kp/cm² sicher ange-

nommen werden. Zylinder, die entlang der Fuge zwischen Betonfertigteilen und frisch eingebrachtem Beton erbohrt wurden, zeigten keine Fehlstellen in der Stoßfläche. Allgemein kann gesagt werden, daß unter Wasser eingebrachter Stahlbeton dieselben Eigenschaften hat wie ein in Schalung eingebrachter Normalbeton.

Schalungsdruck

Unterwasserbeton beginnt etwa nach 1 bis 2 Stunden zu erstarren. Die Wassertemperatur hat hierauf einen gewissen Einfluß, aber bei Massenbetonen bestimmt die frei werdende Hydratationswärme im wesentlichen die Temperaturentwicklung.

Der Schalungsdruck hängt von der Betoniergeschwindigkeit und dem Erstarrungsfortschritt des Betons ab. Die höchsten Schalungsdrücke ergaben sich bei einer Betonierhöhe von 3 m und nach einer gesamten Betonierdauer von 2 $\frac{1}{2}$ bis 4 Stunden (bei einer Steighöhe von 90 cm je Stunde). Es wurden Schalungsdrücke von 1,5 bis 5 t/m² gemessen. Bei einer Steighöhe von 1,50 m je Stunde stellten sich Drücke von rd. 4 t/m² ein und bei einer Betoniergeschwindigkeit von 1,20 bzw. 0,6 m je Stunde Drücke von 3 bzw. 2,5 t/m².

Verstopfer und Entmischungen

Verstopfer in den Betonierrohren entstehen durch Brückenbildung bei zu engen Rohren, längere Unterbrechungen, schwer verarbeitbare Mischungen (zu steif), ungünstige Kornabstufungen der Zuschlagstoffe und infolge Undichtigkeiten der Rohrwandungen.

Am einfachsten wird ein Verstopfer beseitigt, indem man das Rohr kurz einige Male anhebt und auf den Untergrund aufstößt. Wird der Verstopfer nicht sofort beseitigt, dann läuft der Beton am Rohrende aus, und der Anschluß an den nachgeschütteten Beton geht verloren. Ein derartiges Abreißen des Betons sollte möglichst vermieden werden, weil das erneute Anschließen immer mit Entmischungen verbunden ist. Ein Anschließen kann mit Hilfe des schon vorher erwähnten Gummiballes erfolgen. Dabei wird mit dem frisch eingebrachten Beton der Gummiball bei angehobenem Rohr nach unten gestoßen, und gleichzeitig wird das eingedrungene Wasser herausgedrückt. Hierbei darf das Wasser nicht zu schnell herausgedrückt werden, da sonst der bereits eingebrachte Beton ausgewaschen wird. Erreicht der Gummiball das Rohrende, so wird das Rohr wieder in den Frischbeton eingesetzt.

Unter normalen Betonierbedingungen wird der zuerst austretende Beton etwas entmischt (Auswaschen des Zementleims). Dieser Leim setzt sich später wieder auf der Betonoberfläche ab. Er soll, wenn darauf betoniert wird, entfernt werden.

Auswaschungen bzw. *Entmischungen* von Zementleim sind noch möglich, wenn z. B. die Rohre nicht sehr sorgfältig gehoben werden und der ausfließende Beton mit dem Wasser in Berührung kommt bzw. sogar durch das Wasser fällt. Weitere Entmischungen ergeben sich bei der Bildung von Verstopfern, wenn der Anschluß verlorengeht. Aber auch zu dicht verlegte Bewehrungsstäbe können den Betonfluß behindern und ein Auswaschen von

Zementleim bewirken. Es sollte deshalb ein möglichst großer Abstand der Bewehrungsstäbe gewählt werden. Der Mindestabstand sollte dem 4fachen Durchmesser des Größtkorns entsprechen. Wasserströmungen und Wellen verursachen ebenfalls Auswaschungen. Die Strömungsgeschwindigkeit des Wassers sollte deshalb nicht größer als 3 m/min sein.

Zusammenfassung

Das Einbringen von Unterwasserbeton mittels Schütten durch Rohre ist ein ausgezeichnetes Verfahren, um einen Beton hoher Güte unter Wasser einzubauen. Es erfordert aber ein großes Maß an Erfahrung und Sorgfalt in der Überwachung und Ausführung. Das Personal muß deshalb besonders ausgewählt und geschult sein.

S C H R I F T T U M :

- [1] Angas, W. M., E. M. Shanley und J. A. Erickson: Concrete problems in the construction of graving docks by the tremie method. Proc. Amer. Concr. Inst. 40 (1943/44) S. 249/280.
- [2] Halloran, P. J., und K. H. Talbot: Properties and behavior underwater of plastic concrete. Proc. Amer. Concr. Inst. 39 (1942/43) S. 461/492.
- [3] Williams, J. W.: Tremie concrete controlled with admixtures. Proc. Amer. Concr. Inst. 55 (1958/59) S. 839/850.
- [4] Depositing concrete underwater and in deep foundations. Concrete Information Bulletin, Portland Cement Association, Chicago.
- [5] Gerwick, B. C.: Cofferdams and caissons. Handbook of Heavy Construction. Kapitel 23, S. 23-1/23-86. McGraw-Hill Book Co. Inc., New York 1959.
- [6] Burnham, A. K.: Underwater concreting. Construction Methods and Equipment 37 (1955) H. 6, S. 99/112.
- [7] Gerwick, B. C.: Hollow precast concrete units of great size form bridge substructure. Civil Engineering 24 (1954) H. 4, S. 59/63.
- [8] Hunicke, A. B.: The valved tremie applied to subaqueous concrete structures. The Franklin Institute, Journal 252 (1951) H. 2, S. 105/136.
- [9] Werner, H.: Concreting under water. The Concrete Association of India, 1954.